doi: 10.33266/2070-1004-2026-2-50-56
УДК 612.821:613.6:613.11

Оригинальная статья
© ФМБЦ им.А.И.Бурназяна

ОЦЕНКА ОСОБЕННОСТЕЙ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ КАК ФАКТОРА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ У ЛИЦ ОПАСНЫХ ПРОФЕССИЙ ПРИ ИХ РАБОТЕ В СЛОЖНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

З.Ф.Зверева[1], Л.И.Фортунатова[1], С.С.Картусов[1]

[1] ФГБУ «ГНЦ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна» ФМБА России, Москва, Россия

Резюме. *Цели исследования* – выявить особенности психофизиологической адаптации (ПФА) на физиологическом, психофизиологическом и психическом уровнях, определяемые возрастом работников, выполняющих особо ответственные работы в условиях Крайнего Севера.
Материалы и методы исследования. Сравнивались лица мужского пола моложе 40 лет – 14 чел., средний возраст – (33,4±3,2) лет и старше 40 лет – 10 чел., средний возраст – (45,1±3,9) лет. На физиологическом уровне психофизиологическую адаптацию оценивали по показателям методики вариабельности сердечного ритма (ВСР), на психофизиологическом – по показателям зрительно-моторных тестов (ЗМТ), на психическом уровне – по показателям САН (самочувствие, активность, настроение) и ДОРС – дифференциальной диагностики состояний сниженной работоспособности. Функциональную активность центральной нервной системы (ЦНС) оценивали методом электроэнцефалографии (ЭЭГ), а также использовали визуальный анализ и показатели церебрального энергообмена.
Результаты исследования и их анализ. На физиологическом уровне выявилось, что напряжение регуляторных систем вегетативной нервной системы (ВНС) в большей степени имеет место у лиц старше 40 лет. О напряжении ВНС свидетельствовали и данные ЭЭГ – выявлялись признаки дисфункции корковых структур и стволовых образований, участвующих в формировании эмоциональных реакций и регуляции вегетативных функций.
На психофизиологическом уровне выявлено, что лучшее выполнение функций, осуществляемых корково-подкорковым пирамидно-стриатным уровнем организации движений, наблюдалось у лиц моложе 40 лет, а лучшее выполнение функций, осуществляемых с преимущественным участием корковых функций – у лиц старше 40 лет.
На психическом уровне выявлены более высокие самочувствие, активность и настроение – у лиц моложе 40 лет, и бóльшая степень утомления – у лиц моложе 40 лет.
Церебральный энергообмен у лиц моложе 40 лет был выше, чем у лиц старше 40 лет, что свидетельствовало о более низком уровне ПФА у лиц моложе 40 лет по сравнению с лицами старше 40 лет. Возможной причиной более низкого уровня адаптации у лиц моложе 40 лет, по сравнению с лицами старше 40 лет, могла быть выявленная у них бóльшая степень утомления.

Ключевые слова: *лица опасных профессий, психофизиологическая адаптация, сложные климатические условия, фактор профессиональных рисков*

Конфликт интересов. Авторы статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов

Для цитирования: *Зверева З.Ф., Фортунатова Л.И., Картусов С.С.* Оценка особенностей психофизиологической адаптации как фактора профессиональных рисков у лиц опасных профессий при их работе в сложных климатических условиях // Медицина катастроф. 2026. №2. С. 50-56. doi: 10.33266/2070-1004-2026-2-50-56

doi: 10.33266/2070-1004-2026-2-50-56
UDC 612.821:613.6:613.11

Original article
© Burnasyan FMBC FMBA

FEATURES OF PSYCHOPHYSIOLOGICAL ADAPTATION AS A FACTOR IN REDUCING PROFESSIONAL RISKS IN DANGEROUS PROFESSIONS WHEN WORKING IN DIFFICULT CLIMATIC CONDITIONS

Z.F.Zvereva[1], L.I.Fortunatova[1], S.S.Kartusov[1]

[1] State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russian Federation

Summary. *The purpose of the study* is to identify the age-related features of psychophysiological adaptation at the physiological, psychophysiological, and mental levels in workers performing particularly demanding tasks in the Far North.
Materials and methods. Men < 40 years old (14 people, (33.4±3.2)) and men > 40 years old (10 people, (45.1±3.9)) were compared. At the physiological level, PFA was assessed using the heart rate variability (HRV) method. At the psychophysiological level, it was assessed using visual-motor tests (VMT). At the mental level, it was assessed using the self-assessment scale (SAS) and the differential diagnosis of reduced work capacity (DRC). The functional activity of the central nervous system was assessed using EEG, visual analysis, and indicators of cerebral energy metabolism.

Results of the study. At the physiological level, the tension of the regulatory systems of the autonomic nervous system (ANS) was revealed, to a greater extent in persons > 40 years of age. The tension of the ANS was also evidenced by the EEG data, which revealed signs of dysfunction of the cortical structures and stem formations involved in the formation of emotional reactions and the regulation of autonomic functions.
At the psychophysiological level, persons < 40 years of age demonstrated better performance of functions carried out by the cortical-subcortical pyramidal-striatal level of movement organization. And better performance of functions carried out with the predominant participation of cortical functions – by persons > 40 years.
At the mental level, higher well-being, activity, mood were revealed in persons < 40 years and a greater degree of fatigue in persons < 40 years.
Cerebral energy metabolism in persons < 40 years was higher than in persons > 40 years, which indicated a lower level of PFA in persons < 40 years compared to persons > 40 years. A possible reason for revealing a lower level of adapt.

Key words: *difficult climatic conditions, factor, hazardous professions, occupational risk, psychophysiological adaptation*

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest

For citation: *Zvereva Z.F., Fortunatova L.I., Kartusov S.S.* Features of Psychophysiological Adaptation as a Factor in Reducing Professional Risks in Dangerous Professions when Working in Difficult Climatic Conditions. *Meditsina Katastrof* = Disaster Medicine. 2026;2:50-56 (In Russ.). doi: 10.33266/2070-1004-2026-2-50-56

Контактная информация:
Зверева Зоя Фёдоровна – докт. мед. наук, врач функциональной диагностики, старший науч. сотр. ФГБУ «ГНЦ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна» ФМБА России
Адрес: Россия, 123098, Москва, ул. Живописная, д. 46
Тел.: +7 (909) 947-42-58
E-mail: zvereva01@yandex.ru

Contact information:
Zoya F. Zvereva – Dr. Sc. (Med.), Functional Diagnostics Doctor, Senior Scientist Associate of State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency
Address: 46, bldg. 8, Zhivopisnaya str., Moscow, 123098, Russia
Phone: +7 (909) 947-42-58
E-mail: zvereva01@yandex.ru

Введение

Обеспечение надёжности лиц опасных профессий характеризуется значительными практическими достижениями, подкреплёнными всесторонними теоретическими исследованиями таких учёных, как В.Д.Небылицин (1964), В.И.Медведев (1982), П.М.Шалимов (1996), Г.С.Никифоров (1996), Е.П.Ильин (2005), В.А.Бодров (2006), В.А.Пономаренко (2007), И.Б.Ушаков (2011, 2013), В.А.Пухов, И.В.Иванов, С.В.Чепур (2016), В.Ю.Рыбников (2020), В.Ю.Щебланов (2021), А.Ф.Бобров (2021, 2024).

Непрерывное развитие и совершенствование технологий диктуют необходимость постоянного учёта человеческого фактора в системе «человек – производственная среда – внешняя среда» как наиболее уязвимого – в плане психофизиологических возможностей – звена надёжности. Особое значение в этой связи приобретают своевременное выявление и оценка признаков снижения уровня психофизиологической адаптации (ПФА) у работников, выполняющих профессиональные обязанности в экстремальных условиях Крайнего Севера [1, 2]. Эти условия представляют сложную систему климатогеографических, социально-бытовых и производственных факторов, влияющих на физическое и психическое здоровье и на эффективность работы специалистов [1, 2].

Цель исследования – выявить особенности психофизиологической адаптации, определяемые возрастом, у работников, выполняющих особо ответственные работы в условиях Крайнего Севера.

Материалы и методы исследования. Психофизиологическую адаптацию сравнивали у работников <40 лет (14 чел. – (33,4±3,2), мужчины) и >40 лет (10 чел. – (45,1±3,9), мужчины), не имеющих медицинских и психофизиологических противопоказаний для выполнения работ в сложных климатических условиях.

Психофизиологическую адаптацию оценивали на физиологическом, психофизиологическом и психическом уровнях [3]. На физиологическом уровне ПФА оценивали по данным методики вариабельность сердечного ритма (ВСР), при этом использовали: 1 – показатель активности регуляторных систем (ПАРС); 2 – индекс напряжения (ИН); 3 – индекс вегетативного равновесия (ИВР) [4].

На психофизиологическом уровне ПФА оценивали по показателям зрительно-моторных тестов (ЗМТ): простая зрительно-моторная реакция (ПЗМР); сложная зрительно-моторная реакция (СЗМР); реакция на движущийся объект (РДО); при этом использовали: 1 – время реакции – в тестах ПЗМР, СЗМР; 2 – среднеквадратичное отклонение (СКО) – в ПЗМР, СЗМР; 3 – точность выполнения – в тесте РДО [3].

На психическом уровне ПФА оценивали по показателям психологических методик САН (самочувствие, активность, настроение) и ДОРС (дифференциальная диагностика состояний сниженной работоспособности) – [5].

Функциональную активность центральной нервной системы (ЦНС) оценивали методом электроэнцефалографии (ЭЭГ) с помощью визуального анализа [6, 7] и показателей церебрального энергообмена [8, 9].

Результаты исследования и их анализ. Результаты оценки физиологического уровня ПФА методикой ВСР, характеризующей состояние сердечно-сосудистой системы (ССС), представлены в табл. 1. По показателям ПАРС, отражающим активность регуляторных систем в целом, от которой зависит общая реакция организма на воздействие факторов окружающей среды [4], у лиц <40 лет отмечалось выраженное напряжение регуляторных систем; у лиц >40 лет – перенапряжение регуляторных систем (5,9 и 6,9 усл.ед. соответственно; $\chi 2$ $p<0,05$).

Индекс напряжения, отражающий степень напряжения систем, регулирующих деятельность сердца,

Таблица 1 / Table No.1

Результаты оценки методикой ВСР физиологического уровня ПФА у работников <40 лет и >40 лет, выполняющих особо ответственные работы в условиях Крайнего Севера

Results of assessing the physiological level of psychophysiological adaptation in workers <40 years and >40 years of age, performing particularly critical work in the Far North, using the "Heart Rate Variability" method

Показатель, усл.ед.	Работники <40 лет (33,4±3,2); n=14	Работники >40 лет (45,1±3,9); n=10
ПАРС	5,9	6,9 *
ИН	134,1	191,4 *
ИВР	200,3	290,7 *

Примечание: * статистически значимые различия – $\chi 2$ <0,05; отмечены бóльшие значения

и соотношение симпатических и парасимпатических влияний на деятельность сердца, у лиц <40 лет соответствовал норме, у лиц >40 лет превышал норму (134,1 и 191,4 усл.ед. соответственно; $\chi 2$ p<0,05).

Индекс вегетативного равновесия, отражающий соотношение парасимпатического и симпатического отделов вегетативной нервной системы (ВНС), соответствовал норме у всех работников (200,3 усл.ед. – у лиц <40 лет; 290,7 усл. ед. – у лиц >40 лет; $\chi 2$ p<5). Это сидетельствовало о равновесии активности парасимпатического и симпатического отделов ВНС, которое в большей степени проявлялось у лиц <40 лет.

Результаты оценки психофизиологического уровня ПФА по параметрам тестов ПЗМР и СЗМР представлены в табл. 2. Характеристики ПЗМР у всех обследованных соответствовали норме. У лиц <40 лет время реакции ПЗМР было меньше, чем у лиц >40 лет (317,5 и 323,6 мс соответственно; $\chi 2$ p<0,05); СКО ПЗМР было меньше у лиц >40 лет (37,0 – у лиц >40 лет; 42,1 – у лиц <40 лет; $\chi 2$ p<0,05).

У всех обследованных характеристики СЗМР также соответствовали норме, однако соотношение параметров частично отличалось. Время реакции у лиц <40 лет было больше, чем у лиц >40 лет (624,6 мс – у лиц <40 лет; 616,2 мс – у лиц >40 лет; $\chi 2$ p<0,05). Среднеквадратичное отклонение СЗМР, как и СКО ПЗМР, у лиц >40 лет было меньше, чем у лиц <40 лет (96,1 – у лиц >40 лет и 128,8 – у лиц <40 лет; $\chi 2$ p<0,05).

При выполнении теста РДО точность реакции была выше у лиц <40 (0,49 – у лиц <40 лет; 0,94 – у лиц >40 лет; $\chi 2$ p<0,05). Среднеквадратичное отклонение РДО у лиц <40 и >40 лет не различалось (2,6 – у лиц >40 лет; 2,8 – у лиц <40; $\chi 2$ p >0,05).

Результаты оценки психического уровня ПФА по параметрам методик САН и ДОРС приведены в табл. 3, 4. С помощью методик САН и ДОРС были обследованы 5 чел. (3 чел. <40 лет; 2 чел. >40 лет). Вследствие небольшого числа обследованных между группами лиц <40 лет и >40 лет сравнивались показатели каждой из шкал: их значения, а также уровень оценок – низкий, средний, высокий; полученные данные рассматривались как тенденция.

В табл. 3 приведены результаты обследования методикой САН лиц <40 и >40 лет. У лиц <40 лет количество средних оценок – 6, высоких – 3, низких оценок – нет. У лиц >40 лет средних оценок – 3, высоких – 1, низких – 2 (различия между группами статистически значимы; $\chi 2$, p<0,05). Такое соотношение оценок свидетельствовало о лучшем состоянии психической адаптации у лиц <40 лет по сравнению с лицами >40 лет.

В табл. 4 приведены результаты обследования методикой ДОРС. По шкале «Индекс утомления» психическое состояние было лучше у лиц >40 лет – у них отмечались средняя и низкая степень утомления; у лиц <40 лет – средняя и высокая степень утомления (различия статистически значимы; $\chi 2$, p<0,05). По остальным шкалам – «Индекс монотонии», «Индекс пресыщения», «Индекс стресса» – различий между группами не отмечалось.

Оценка функционального состояния (ФС) ЦНС по показателям ЭЭГ осуществлялась с помощью визуального анализа, являющегося основным методом клинического

Таблица 2 / Table No.2

Результаты оценки психофизиологического уровня ПФА по параметрам ПЗМР и СЗМР у работников <40 лет и >40 лет, выполняющих особо ответственные работы в условиях Крайнего Севера

Results of assessing the psychophysiological level of psychophysiological adaptation based on the parameters of simple visual-motor reaction and complex visual-motor reaction in workers <40 years and >40 years of age, performing particularly critical work in the Far North

Характеристика	ПЗМР		СЗМР	
	работники <40 лет (33,4±3,2); n=14	работники >40 лет (45,1±3,9); n=10	работники <40 лет (33,4±3,2); n=14	работники >40 лет (45,1±3,9); n=10
Время реакции, мс	317, 5*	323,6	624,6	616,2*
Среднеквадратичное отклонение	42,1	37,0*	128,8	96,1*

Примечание: * статистически значимые различия – $\chi 2$ p<0,05; отмечены меньшие значения

Таблица 3 / Table No.3

Результаты оценки методикой САН* психического уровня ПФА у работников <40 лет и >40 лет, выполняющих особо ответственные работы в условиях Крайнего Севера

Results of assessing the mental level of psychophysiological adaptation in workers <40 years and >40 years of age, performing particularly critical work in the Far North, using the "Well-being, Activity, Mood" method

Обследуемые	Возраст, лет	Самочувствие	Активность	Настроение
Возраст >40 лет				
1-й	32	36 – средний	36 – средний	33 – средний
2-й	34	31 – средний	30 – средний	47 – средний
3-й	39	61 – высокий	67 – высокий	70 – высокий
Возраст >40 лет				
4-й	43	27 – низкий	37 – средний	21 – низкий
5-й	47	43 – средний	39 – средний	61 – высокий

Примечания: приведены оценки по каждой шкале и указан уровень каждой оценки – низкий, средний, высокий; * методика САН – самочувствие, активность, настроение

Таблица 4 / Table No.4

Результаты оценки методикой ДОРС* психического уровня ПФА у работников <40 лет и >40 лет, выполняющих особо ответственные работы в условиях Крайнего Севера

Results of assessing the mental level of psychophysiological adaptation in workers <40 years and >40 years of age, performing particularly critical work in the Far North, using the "Differential Diagnosis of Reduced Performance" method

Обследуемые	Возраст, лет	Шкалы методики ДОРС			
		индекс утомления	индекс монотонии	индекс пресыщения	индекс стресса
Возраст <40 лет					
1-й	32	18 – средний	16 – средний	20 – средний	15 – низкий
2-й	34	33 – высокий	14 – низкий	12 – низкий	15 – низкий
3-й	39	16 – средний	11 – низкий	13 – низкий	15 – низкий
Возраст <40 лет					
4-й	43	30 – средний	18 – средний	19 – средний	12 – низкий
5-й	47	15 – низкий	13 – низкий	16 – средний	18 – средний

Примечания: приведены оценки по каждой шкале и указан уровень каждой оценки – низкий, средний, высокий; * методика ДОРС – дифференциальная диагностика состояний сниженной работоспособности

анализа ЭЭГ [6]. Для этого использовались методические рекомендации (МР) ФМБА России (2023) «Применение ЭЭГ в комплексной оценке эффективности реабилитационно-оздоровительных мероприятий у лиц с низким уровнем психофизиологической адаптации» [10]. В МР приводятся данные, полученные в течение многолетних исследований по оценке ФС ЦНС у работников с разными уровнями ПФА, включая низкий уровень адаптации [11].

Функциональное состояние ЦНС оценивалось в структурно-функциональных образованиях ЦНС, отражающих ФС на следующих уровнях функционирования [12]:

• корковом – выделялся по данным психодиагностических методик, характеризовал психический уровень функционирования;

• корково-подкоркового взаимодействия – выделялся по данным психофизиологических методик – зрительно-моторных тестов ПЗМР, СЗМР, РДО, характеризовал психофизиологический уровень функционирования;

• центральной регуляции сердечно-сосудистой системы – выделялся по данным ВСР, характеризовал физиологический уровень функционирования.

При визуальном анализе ЭЭГ рассматривались аномальные показатели [10, 11]:

1. *«Тип ЭЭГ IV – дезорганизованный (с преобладанием α-активности)»* по классификации Е.А.Жирмунской [13, 14]; показатель отражает нарушения ФС ЦНС на всех уровнях функционирования в совокупности – корковом, корково-подкоркового взаимодействия, центральной регуляции ССС [6, 10, 11, 13, 14, 15].

2. *«Неустойчивая динамика ЭЭГ»* – характеризует ФС ЦНС с точки зрения устойчивости нервных процессов; отражает нарушения преимущественно на корковом уровне функционирования [16].

3. *«Высокий индекс низкочастотной β1-активности»* – свидетельствует о дисфункции стволовых структур диэнцефального уровня – преимущественно неспецифических ядер таламуса, участвующих в формировании эмоциональных реакций и регуляции вегетативных функций [6, 10, 11, 15].

4. *«Наличие вспышек билатерально-синхронных волн (БСВ)»*. Показатель рассматривается как признак дисфункции корковых структур, и стволовых образований разного уровня (нижне-, средне- и верхнестволового), участвующих в формировании эмоциональных реакций и регуляции функций ВНС [6, 10, 11, 15].

Результаты визуального анализа ЭЭГ представлены в табл. 5, 6. В группе лиц <40 лет (см. табл. 5) в равных пропорциях выявлялись ЭЭГ I, II, III типов, соответствующих норме [13, 14], а также ЭЭГ IV типа, отражающих нарушения ФС ЦНС на всех уровнях функционирования – корковом, корково-подкоркового взаимодействия, центральной регуляции ССС [6, 10, 11, 13, 14, 15].

Можно отметить как тенденцию, не достигающую степени статистической значимости, преобладание ЭЭГ:

– с неустойчивой динамикой (71,4%), свидетельствующей о неустойчивости нервных процессов [16];

– с высоким индексом низкочастотной β1-активности (64,3%) – с признаком дисфункции стволовых структур диэнцефального уровня (преимущественно неспецифических ядер таламуса), участвующих в эмоциональных реакциях и регуляции функций ВНС [6, 10, 11, 15].

Статистически значимо в группе лиц <40 лет преобладали ЭЭГ со вспышками БСВ (78,6%, $p<0,05$), свидетельствующие о дисфункции корковых структур и стволовых образований разного уровня (нижне-, средне- и верхнестволового), участвующих в эмоциональных реакциях и регуляции функций ВНС [6, 10, 11, 15].

Сходные изменения ФС ЦНС выявились в группе лиц >40 лет (табл. 7). Здесь также, как и у работников <40 лет, в равных пропорциях (50 и 50%) выявлялись ЭЭГ I, II, III типов, соответствующих норме [13, 14], и ЭЭГ IV типа, отражающие нарушения на всех уровнях функционирования – корковом, корково-подкоркового взаимодействия, центральной регуляции ССС [6, 10, 11, 13, 14, 15].

Таблица 5 / Table No.5

Результаты визуального анализа ЭЭГ у работников <40 лет, выполняющих особо ответственные работы в условиях Крайнего Севера

Results of visual analysis of electroencephalography in workers <40 years of age, performing particularly critical work in the Far North

Возраст (33,4±3,2); мужчины; n=14			
типы ЭЭГ	динамика ЭЭГ	индекс β1	вспышки БСВ
I, II, III, IV	устойчивая / неустойчивая	низкий / высокий	нет – единичные / много
I, II, III 7 чел. – 50%	устойчивая 4 чел. – 28,6%	низкий 5 чел. – 35,7%	нет – единичные 3 чел. – 21,4%
IV 7 чел. – 50%	неустойчивая 10 чел. – 71,4%	высокий 9 чел. – 64,3%	много 11 чел. – 78,6%*

Примечание: БСВ – билатерально-синхронные волны; * статистически значимые различия – $\chi 2 <0,05$; отмечены бóльшие значения

Таблица 6 / Table No.6

Результаты визуального анализа ЭЭГ у работников >40 лет, выполняющих особо ответственные работы в условиях Крайнего Севера

Results of visual analysis of electroencephalography in workers <40 years of age, performing particularly critical work in the Far North

Возраст (45,1±3,9); мужчины; n=10			
типы ЭЭГ	динамика ЭЭГ	индекс β1	вспышки БСВ
I, II, III, IV	устойчивая / неустойчивая	Низкий / высокий	нет – единичные / много
I, II, III 5 чел. – 50%	устойчивая 2 чел. – 20%	низкий 1 чел. – 10%	нет – единичные 4 чел. – 40%
IV 5 чел. – 50%	неустойчивая 8 чел. – 80%	высокий 9 чел. – 90%[#]	много 6 чел. – 60%

Примечание: БСВ – билатерально-синхронные волны; [#] статистически значимые различия G <0,05; отмечены бóльшие значения

В приблизительно равных пропорциях (40 и 60%) в группе лиц >40 лет отмечались ЭЭГ со вспышками БСВ, свидетельствующими о дисфункции корковых и стволовых структур разного уровня, участвующих в формировании эмоциональных реакций и регуляции вегетативных функций [6, 10, 11, 15]. В виде тенденции отмечалось преобладание ЭЭГ с неустойчивой динамикой (80%), свидетельствовавшей о неустойчивости нервных процессов [15].

Статистически значимо в группе преобладали ЭЭГ с высоким индексом низкочастотной β1-активности – признаком дисфункции стволовых структур диэнцефального уровня, преимущественно – в неспецифических ядрах таламуса – 90%, p<0,05 [6, 10, 11, 15].

Результаты оценки ФС ЦНС с помощью показателей церебрального энергообмена у работников, выполняющих особо ответственные работы в условиях Крайнего Севера, [8, 9], см. табл. 6. У всех обследованных эти показатели соответствовали норме [8, 9]. В передних отделах коры они были больше, чем в задних, что также соответствовало норме [8, 9]. У лиц <40 лет в передних отделах коры показатели составили 21,2 усл.ед., в задних отделах коры – 18,5 усл.ед., t <0,05; у лиц >40 лет – в передних отделах коры – 17,3 усл.ед., в задних отделах коры – 15,6 усл. ед., t <0,05.

У лиц >40 лет показатели церебрального энергообмена в передних и задних отделах коры были меньше, чем у лиц <40 лет – в передних отделах коры: у лиц <40 лет – 21,2 усл.ед., у лиц >40 лет – 17,3 усл.ед., t <0,05; в задних отделах коры: у лиц <40 лет – 18,5 усл.ед., у лиц >40 лет – 15,6 усл.ед., t <0,05.

Из приведенных данных следует, что у лиц >40 лет показатели церебрального энергообмена как в передних, так и в задних отделах коры были меньше, чем у лиц <40 лет.

Обсуждение

Оценка ПФА на разных уровнях – физиологическом, психофизиологическом, психическом – у работников, выполняющих особо ответственные работы в условиях Крайнего Севера, выявила следующие особенности, связанные с возрастом.

Таблица 7 / Table No.7

Результаты оценки ФС ЦНС по ЭЭГ-показателям церебрального энергообмена у работников <40 лет и >40 лет, выполняющих особо ответственные работы в условиях Крайнего Севера

Results of assessing the physiological state of the central nervous system based on electroencephalographic indicators of cerebral energy metabolism in workers <40 years and >40 years, performing particularly critical work in the Far North

Работники <40 лет (33,4±3,2); n=14		Работники >40 лет (45,1±3,9); n=10	
передние отделы коры	задние отделы коры	передние отделы коры	задние отделы коры
21,2*[#]	18,5[#]	17,3*	15,6

Примечание: * статистически значимые различия между передними и задними отделами коры, t<0,05 (отмечены бóльшие значения); [#] статистически значимые различия между лицами <40 и >40 лет, t<0,05 (отмечены бóльшие значения)

На физиологическом уровне выявилось напряжение регуляторных систем, которое в большей степени (перенапряжением) проявлялось у лиц >40 лет. Это отмечалось по показателям, отражающим активность регуляторных систем организма в целом – ПАРС, а также по показателям ИН, отражающим степень напряжения систем, регулирующих деятельность сердца, а также соотношение симпатических и парасимпатических влияний на деятельность сердца. Выявленные изменения свидетельствовали о централизации управления ритмом сердца, что – за счет напряжения регуляторных механизмов – обусловливало более высокую физиологическую «цену» адаптации путём привлечения дополнительных функциональных резервов [4].

Динамический баланс парасимпатического и симпатического отделов ВНС, выявленный по показателю ИВР как у лиц <40, так и у лиц >40 лет, свидетельствовал о возможностях: симпатической системы – осуществлять мобилизацию ресурсов организма, парасимпатической системы – реализовать текущую регуляцию физиологических процессов. В совокупности это поддерживало гомеостаз, который обеспечивал адаптацию к условиям внешней и внутренней среды на уровне, позволявшем выполнять особо ответственные работы в условиях Крайнего Севера.

О напряжении систем ВНС свидетельствовали и данные ЭЭГ. У всех обследованных преобладала ЭЭГ с признаками дисфункции корковых и подкорковых структур, участвующих в формировании эмоциональных реакций и регуляции вегетативных функций. У лиц <40 лет преобладала ЭЭГ со вспышками *билатерально-синхронных волн (*БСВ) – признаками дисфункции корковых структур и стволовых образований разного уровня – нижне-, средне- и верхнестволового [6, 10, 11, 15]. У лиц >40 лет преобладала ЭЭГ с высоким индексом низкочастотной β1-активности – признаком дисфункции стволовых структур диэнцефального уровня, преимущественно – неспецифических ядер таламуса [6, 10, 11, 15].

По данным ЗМТ, психофизиологическая адаптация на психофизиологическом уровне у всех обследованных соответствовала норме. Это означало, что возбудимость коркового отдела зрительного анализатора, скорость проведения возбуждения по рефлекторной дуге до эффекторов включительно, а также сократительная функция мышечной системы организма были как у здоровых людей [5].

У лиц <40 лет скорость реакции при выполнении ПЗМР были выше, чем у лиц >40 лет. Скорость реакции при выполнении СЗМР (теста более сложного, чем

ПЗМР) была выше у лиц >40 лет (относительно лиц <40 лет) [5]. Простая зрительно-моторная реакция относится к макродвижениям, которые обеспечиваются пирамидно-стриатным (корково-подкорковым) уровнем организации движений. Сложная зрительно-моторная реакция, включающая различение сигналов и выбор, в соответствии с различением, разных способов поведенческого реагирования, обеспечивается, преимущественно, корковым уровнем моторных действий [5]. Можно заключить, что при выполнении ПЗМР функции, осуществляемые корково-подкорковым пирамидно-стриатным уровнем организации движений, осуществлялись более успешно лицами <40 лет. Функции, осуществляемые преимущественно корковыми структурами при выполнении СЗМР, осуществлялись более успешно лицами >40 лет. Следует также отметить, что стабильность функционирования ЦНС при выполнении ПЗМР и СЗМР у лиц >40 лет была выше, чем у лиц <40 лет.

Психофизиологическая адаптация на психическом уровне по показателям теста САН была лучше у лиц <40 лет, т.е. самочувствие, активность и настроение у них были лучше, чем у лиц >40 лет.

По показателям теста ДОРС, ПФА на психическом уровне различалась только по шкале «Утомление». Показатели этой шкалы свидетельствовали о меньшей степени утомления у лиц >40 лет. По остальным шкалам – «Индекс монотонии», «Индекс пресыщения», «Индекс стресса» – различий между лицами разного возраста не отмечалось.

Церебральный энергообмен характеризовался более низким уровнем у лиц >40 лет (относительно лиц <40 лет) во всех отделах коры – в передних, обрабатывающих информацию, и в задних, воспринимающих информацию [17]. В ранее проведенных исследованиях было показано, что при низком уровне ПФА уровень церебрального энергообмена выше, чем при высоком уровне адаптации [18]. Усиление церебрального энергообмена отмечалось при осуществлении процессов, связанных, преимущественно, с корковыми структурами головного мозга (ГМ). Это рассматривалось как компенсаторный механизм, который позволял обеспечить уровень функционирования ГМ, достаточный для осуществления профессиональной деятельности.

Можно предположить, что более высокий уровень церебрального энергообмена у лиц <40 лет (относительно лиц >40 лет) свидетельствовал о необходимости усиления энергообмена при осуществлении процессов, связанных преимущественно с корковыми структурами ГМ. Возможной причиной, как можно предположить, могла быть выявленная у лиц <40 лет бóльшая степень нарушения психического уровня ПФА (б льшая степень утомления у лиц <40 лет относительно лиц >40 лет). Признаком большего нарушения психического уровня ПФА у лиц <40 лет (относительно лиц >40 лет) могла быть и меньшая стабильность функционирования ЦНС, выявленная при выполнении ПЗМР и СЗМР.

Заключение

У работников, выполняющих особо ответственные работы в условиях Крайнего Севера, проводилась оценка ПФА на физиологическом, психофизиологическом, психическом уровнях с целью выявления особенностей, связанных с возрастом. Сравнивались лица, возраст которых был <40 и >40 лет.

На физиологическом уровне выявилось напряжение регуляторных систем, которое в большей степени (перенапряжением) проявлялось у лиц >40 лет. Выявленные изменения свидетельствовали о централизации управления ритмом сердца, что за счет напряжения регуляторных механизмов обусловливало более высокую физиологическую «цену» адаптации путём привлечения дополнительных функциональных резервов

Динамический баланс парасимпатического и симпатического отделов ВНС свидетельствовал о возможностях: симпатической системы – осуществлять мобилизацию ресурсов организма, парасимпатической системы – реализовать текущую регуляцию физиологических процессов. В совокупности это поддерживало гомеостаз, позволявший всем обследованным выполнять особо ответственные работы в условиях Крайнего Севера.

Данные ЭЭГ также свидетельствовали о напряжении систем, осуществляющих регуляцию функций ВНС. У всех обследованных доминировала ЭЭГ с признаками дисфункции стволовых образований, участвующих в регуляции эмоциональных реакций и вегетативных функций. У лиц <40 лет эти признаки проявлялись вспышками БСВ; у лиц >40 лет – высоким индексом низкочастотной β1-активности.

На психофизиологическом уровне ПФА установлено, что выполнение функций, осуществляемых корково-подкорковым пирамидно-стриатным уровнем организации движений (ПЗМР), было более успешным у лиц <40 лет. Выполнение функций, осуществляемых преимущественно корковыми структурами (СЗМР), было более успешным у лиц >40 лет. Стабильность функционирования ЦНС при выполнении ПЗМР и СЗМР была выше у лиц >40 лет.

По показателям теста САН психофизиологическая адаптация на психическом уровне была лучше у лиц <40 лет. По показателям теста ДОРС, в соответствии с которыми утомление было больше выражено у лиц <40 лет – психофизиологическая адаптация была лучше у лиц >40 лет.

Церебральный энергообмен у лиц <40 лет был выше, чем у лиц >40 лет. Это можно рассматривать как признак большей степени нарушения психического уровня ПФА, что сопровождалось более высоким энергообменом при выполнении функций, осуществление которых происходит с участием преимущественно корковых структур головного мозга.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Бушманов А.Ю., Калинина М.Ю., Щебланов В.Ю., Седин В.И., Бобров А.Ф., Фортунатова Л.И.* Функциональная надёжность в системе медико-психофизиологического обеспечения работников объектов использования атомной энергии. М.: ФМБЦ им. А.И.Бурназяна, 2022. 92 с.

2. *Багнетова Е.А., Малюкова Т.И., Болотов С.В.* К вопросу об адаптации организма человека к условиям жизни в северном регионе // Успехи современного естествознания. 2021. №4. С. 111-116.

REFERENCES

1. Bushmanov A.Yu., Kalinina M.Yu., Shcheblanov V.Yu., Sedin V.I., Bobrov A.F., Fortunatova L.I. *Funktsional'naya Nadozhnost' v Sisteme Medико-Psikhofiziologicheskogo Obespecheniya Rabotnikov Ob"Yektov Ispol'zovaniya Atomnoy Energii* = Functional Reliability in the System of Medical and Psychophysiological Support for Workers at Nuclear Facilities. Moscow, FMBTS im. A.I. Burnazyana Publ., 2022. 92 p. (In Russ.).

2. Bagnetova Ye.A., Malyukova T.I., Bolotov S.V. On the Issue of Adaptation of the Human Body to Living Conditions in the Northern Region. *Uspekhi Sovremennogo Yestestvoznaniya* = Advances in Modern Natural Science. 2021;4:111-116 (In Russ).).

3. Организация и проведение психофизиологических обследований работников организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты в области использования атомной энергии, при прохождении работниками медицинских осмотров в медицинских организациях ФМБА России: Методические рекомендации ФМБА России 2.2.9.84-2015. М.: ФМБА России, 2015. 10 с.

4. *Баевский Р.М., Иванов Г.Г.* Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2001. №3. С.106 -127.

5. *Кристаль Д.О.* Динамика работоспособности у представителей опасных профессий при решении профессиональных задач // Устойчивое развитие науки и образования. 2020. Т.1. №40. С. 77-83.

6. *Зенков Л.Р.* Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии): Руководство для врачей. М.: МЕДпресс-информ, 2023. 360 с.

7. *Торубаров Ф.С., Зверева З.Ф., Лукьянова С.Н.* Биоэлектрическая активность головного мозга у оперативного персонала АЭС России с низким уровнем психофизиологической адаптации // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2021. Т.2. №66. С. 29–35.

8. *Зверева З.Ф.* Характер межполушарного распределения мощности биопотенциалов головного мозга в норме и при его латерализованном поражении: Автореф. дис... докт мед. наук. М.: НИИ общей патологии и патофизиологии РАМН, 2004. 33 с.

9. *Мирошник Е.В., Зверева З.Ф., Бобров А.Ф., Баскаков И.С., Ванчакова Н.П., Еланская О.В.* Сопоставление показателей биоэлектрической активности головного мозга и энергетических процессов в ткани мозга (Величины межполушарных различий гомологичных отведений и уровня постоянного потенциала головного мозга) // Медицина экстремальных ситуаций. 2017. Т.2. №60. С. 49-59.

10. Применение ЭЭГ в комплексной оценке эффективности реабилитационно-оздоровительных мероприятий у лиц с низким уровнем психофизиологической адаптации: Методические рекомендации. М.: ФМБА России, 2023. 33 с.

11. *Торубаров Ф.С., Зверева З.Ф., Лукьянова С.Н., Денисова Е.А., Метляева Н.А.* Изучение биоэлектрической активности головного мозга у работников радиационно опасных предприятий и производств с различным уровнем психофизиологической адаптации: Отчёт. 2020.

12. *Торубаров Ф.С., Бушманов А.Ю., Зверева З.Ф.* Концепция психофизиологического обследования персонала объектов использования атомной энергии в медицинских организациях // Медицина экстремальных ситуаций. 2021. Т.1. №23. С. 12-17.

13. *Жирмунская Е.А.* Клиническая электроэнцефалография. М.: Межотраслевой научно-исследовательский инженерно-технологический центр «Скан», 1993. 43 с.

14. *Жирмунская Е.А.* Атлас классификации ЭЭГ. М., 1996. 259 с.

15. *Торубаров Ф.С., Зверева З.Ф., Денисова Е.А.* Дифференцированные реабилитационно-оздоровительные мероприятия для работников атомных электростанций с низким уровнем психофизиологической адаптации // Медицина труда и промышленная экология. 2017. №9. С. 193-194.

16. *Лукьянова С.Н.* Биоэлектрическая активность коры и некоторых подкорковых образований при экспериментальном неврозе // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П.Павлова. 1976. Т.26. №3. С. 539-547.

17. *Лурия А.Р.* Основы нейропсихологии. М.: МГУ, 1973. 376 с.

18. *Зверева З.Ф., Торубаров Ф.С., Ванчакова Н.П., Лукьянова С.Н., Мирошник Е.В., Денисова Е.А.* Сравнительная характеристика частотных диапазонов ЭЭГ и церебрального энергообмена при низком уровне психофизиологической адаптации у работников ядерно-опасных предприятий и производств // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2023. Т.68. №5. С. 50–59. Doi: 10.33266/1024-6177-2023-68-5-50-59.

3. *Organizatsiya i Provedeniye Psikhofiziologicheskikh Obsledovaniy Rabotnikov Organizatsiy, Ekspluatiruyushchikh Osobo Radiatsionno Opasnyye i Yaderno Opasnyye Proizvodstva i Ob"Yekty v Oblasti Ispol'zovaniya Atomnoy Energii, pri Prokhozhdenii Rabotnikami Meditsinskikh Osmotrov v Meditsinskikh Organizatsiyakh FMBA Rossii* = Organization and Implementation of Psychophysiological Examinations of Employees of Organizations Operating Particularly Radiation-Hazardous and Nuclear-Hazardous Production Facilities and Facilities in the Field of Atomic Energy Use, when Employees Undergo Medical Examinations in Medical Organizations of the FMBA of Russia. Methodological Recommendations of the FMBA of Russia 2.2.9.84-2015. Moscow, FMBA Rossii Publ., 2015. 10 p. (In Russ.).

4. Bayevskiy P.M., Ivanov G.G. Heart Rate Variability: Theoretical Aspects and Potential for Clinical Application. *Ul'trazvukovaya i Funktsional'naya Diagnostika* = Ultrasound and Functional Diagnostics. 2001;3:106-127 (In Russ.).

5. Kristal' D.O. Dynamics of Performance in Representatives of Hazardous Occupations when Solving Professional Problems. *Ustoychivoye Razvitiye Nauki i Obrazovaniya* = Sustainable Development of Science and Education. 2020;1;40:77-83 (In Russ.).

6. Zenkov L.R. *Klinicheskaya Elektroentsefalografiya (s Elementami Epileptologii)* = Clinical Electroencephalography (with Elements of Epileptology). A Guide for Physicians. Moscow, MEDpress-Inform Publ., 2023. 360 p. (In Russ.).

7. Torubarov F.S., Zvereva Z.F., Luk'yanova S.N. Bioelectrical Activity of the Brain in Operating Personnel of Russian NPPs with a Low Level of Psychophysiological Adaptation. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'*= Medical Radiology and Radiation Safety. 2021;2;66:29–35 (In Russ.).

8. Zvereva Z.F. *Kharakter Mezhpolusharnogo Raspredeleniya Moshchnosti Biopotentsialov Golovnogo Mozga v Norme i pri yego Lateralizovannom Porazhenii* = The Nature of Interhemispheric Distribution of the Power of Brain Biopotentials in the Norm and with its Lateralized Damage. Abstract of Doctors Thesis (Med.). Moscow, NII Obshchey Patologii i Patofiziologii RAMN Publ., 2004. 33 p. (in Russ.).

9. Miroshnik Ye.V., Zvereva Z.F., Bobrov A.F., Baskakov I.S., Vanchakova N.P., Yelanskaya O.V. Comparison of Indicators of Bioelectrical Activity of the Brain and Energy Processes in Brain Tissue (The Magnitude of Interhemispheric Differences in Homologous Leads and the Level of Constant Potential of the Brain). *Meditsina Ekstremal'nykh Situatsiy* = Extreme Medicine. 2017;2;60:49-59 (In Russ.).

10. *Primeneniye EEG v Kompleksnoy Otsenke Effektivnosti Reabilitatsionno-Ozdorovitel'nykh Meropriyatiy u Lits s Nizkim Urovnem Psikhofiziologicheskoy Adaptatsii* = The Use of EEG in a Comprehensive Assessment of the Effectiveness of Rehabilitation and Health Measures in Individuals with a Low Level of Psychophysiological Adaptation. Methodological Recommendations. Moscow, FMBA Rossii Publ., 2023. 33 p. (In Russ.).

11. Torubarov F.S., Zvereva Z.F., Luk'yanova S.N., Denisova Ye.A., Metlyayeva N.A. *Izucheniye Bioelektricheskoy Aktivnosti Golovnogo Mozga u Rabotnikov Radiatsionno Opasnykh Predpriyatiy i Proizvodstv s Razlichnym Urovnem Psikhofiziologicheskoy Adaptatsii* = Study of Brain Bioelectric Activity in Workers at Radiation-Hazardous Enterprises and Industries with Different Levels of Psychophysiological Adaptation. Report 2020. (In Russ.).

12. Torubarov F.S., Bushmanov A. YU., Zvereva Z.F. Concept of Psychophysiological Examination of Personnel of Nuclear Energy Facilities in Medical Organizations. *Meditsina Ekstremal'nykh Situatsiy* = Extreme Medicine. 2021;1;23:12-17 (In Russ.).

13. Zhirmunskaya Ye.A. Klinicheskaya Elektroentsefalografiya = Clinical Electroencephalography. Moscow, Mezhotraslevoy Nauchno-Issledovatel'skiy Inzhenerno-Tekhnologicheskiy Tsentr Skan Publ., 1993. 43 p. (In Russ.).

14. Zhirmunskaya Ye.A. *Atlas Klassifikatsii EEG* = Atlas of EEG Classification. Moscow Publ., 1996. 259 p. (In Russ.).

15. Torubarov F.S., Zvereva Z.F., Denisova Ye.A. Differentiated Rehabilitation and Health Measures for Workers of Nuclear Power Plants with a Low Level of Psychophysiological Adaptation. *Meditsina Truda i Promyshlennaya Ekologiya* = Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology. 2017;9:193-194 (In Russ.).

16. Luk'yanova S.N. Bioelectrical Activity of the Cortex and Some Subcortical Formations in Experimental Neurosis. *Zhurnal Vysshey Nervnoy Deyatel'nosti im. I.P. Pavlova* = Journal of Higher Nervous Activity named after I.P. Pavlov. 1976;26;3:539-547 (In Russ.).

17. Luriya A.R. *Osnovy Neyropsikhologii* = Fundamentals of Neuropsychology. Moscow, Moskovskiy Gosudarstvennyy Universitet Publ., 1973. 376 p. (In Russ.).

18. Zvereva Z.F., Torubarov F.S., Vanchakova N.P., Luk'yanova S.N., Miroshnik Ye.V., Denisova Ye.A. Comparative Characteristics of EEG Frequency Ranges and Cerebral Energy Exchange at a Low Level of Psychophysiological Adaptation in Workers of Nuclear-Hazardous Enterprises and Industries. *Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost'* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2023;68;5:50–59 (In Russ.). Doi: 10.33266/1024-6177-2023-68-5-50-59.

Материал поступил в редакцию 14.11.25; статья принята после рецензирования 03.04.26; статья принята к публикации 16.06.26
The material was received 14.11.25; the article after peer review procedure 03.04.26; the Editorial Board accepted the article for publication 16.06.26